

## 映像の生体影響評価に関する研究

著者	杉田 典大
号	3162
発行年	2003
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8434">http://hdl.handle.net/10097/8434</a>

氏名	すぎ た のり ひろ	
授与学位	杉 田 典 大	
学位授与年月日	博士 (工学)	
学位授与の根拠法規	平成 16 年 3 月 25 日	
研究科, 専攻の名称	学位規則第 4 条第 1 項	
学位論文題目	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気・通信工学専攻	
指導教官	映像の生体影響評価に関する研究	
論文審査委員	指 導 教 官 東北大学教授 吉澤 誠	
	主査 東北大学教授 吉澤 誠	東北大学教授 阿部 健一
	東北大学教授 鈴木 陽一	東北大学助教授 渡辺 高志
	(情報科学研究科)	

## 論文内容要旨

近年の情報技術 (IT) の急速な発達により, 映像情報に関するヒューマン・インタフェースは, ハードウェアおよびソフトウェアの両面において著しい発展を遂げ, 持続的な進化の最中にある. 家庭における大画面・高精細ディスプレイ, リアリティのあるテレビゲーム, 揺れる電車内での携帯端末の小画面, あるいは, バーチャルリアリティを利用した遠隔会議システムやテーマパークにおける人工的立体視など, 今後もこれまで人間が体験したことのない映像環境の拡がりが見込まれる.

しかし一方では, 新しい映像提示装置の使用や特異な映像コンテンツが生体に及ぼす影響について, 次のような好ましくない事例が数多く存在する.

- ・光過敏性発作 (photo-sensitive epilepsy ; PSE, 視覚刺激で誘発される癲癇様発作)
- ・眼科的症状 (眼精疲労, ドライアイ, 近視など)
- ・動揺病的症状 (悪心, 嘔吐, 顔面蒼白, 冷汗など)
- ・眼科的症状以外の VDT (video display terminal) 症候群 (ストレスあるいは疲労感, 自律神経系の不定愁訴, 肩こりなどの筋骨格系症状など)
- ・生理的, 心理的, 精神的要因による激しい情動反応 (興奮・嫌悪・恐怖感の誘発など)

発達段階にある児童, 肉体的・精神的適応能力の低下した高齢者, 感受性が高く受容能力の低くなった病人などへの影響を考慮すると, これらの映像が生体へ及ぼす悪影響をできるかぎり抑制するための方策について, 検討, 実施することは, 不可欠であると考えられる.

以上の背景をもとに, 本研究では, 自律神経系に関連する生理的パラメータを用いて, 映像刺激が自

自律神経系に及ぼす影響や変化を、客観的・定量的に把握する方法を開発することを目的とした。特に、生体影響の評価で多くみられる、個人差の大きさや再現性の低さを改善するために、複数の生理的パラメータの関連性に着目した指標や、実験環境を統一した複数被験者同時実験のための手法について提案を行なった。

生体への影響が強く現れることが予想される映像として、光過敏性発作を誘発する可能性のある「光点滅映像」、映像酔いを誘発する可能性のある「手ぶれ映像」、および、嫌悪感や不快感をもよおす可能性がある「外科手術映像」の3種類を選び、これらを視覚入力刺激として55名の被験者に提示する実験を行なった。

本研究では、個人差を出来る限り抑制し、生体影響を明瞭にさせることを意図し、従来の研究の多くが各生理的パラメータを独立に解析していたのとは異なり、これらのパラメータ間の相互関係に着目した指標である最大相互相関係数  $\rho_{\max}$  を解析した。この  $\rho_{\max}$  は、平均血圧変動 *MBP* と心拍数変動 *HR* の中から Mayer 波と呼ばれる 0.1Hz 近傍の成分のみについて相互相関をとり、これらの変量間の線形性をみたものである。

この解析の結果、「光点滅映像」と「手ぶれ映像」の2種類の映像について、それらの影響が強く現れると思われる箇所では、 $\rho_{\max}$  が低下することがわかった。特に「手ぶれ映像」について、従来の主観的評価手法(SSQ)から求められるスコアに基づき、「酔った」か「酔わなかった」かに関する閾値で被験者をグループ分けし  $\rho_{\max}$  の変化を比較したところ、酔った被験者群の方が酔わなかった被験者群と比べ  $\rho_{\max}$  が有意に低くなる時間帯が存在した。このことから、 $\rho_{\max}$  を用いることで、映像中で酔いを誘発させる部分を特定できる可能性が示された。

一方、「外科手術映像」からは、気持ち悪さのインパクトが強いと思われる場面の直後に、不快感を強く抱いた被験者の  $\rho_{\max}$  が、そうでない被験者に比べ有意に高くなる結果を得た。このことから、映像酔い等から生じる生理的不快感と、嫌悪感などの心理的・精神的な不快感は、自律神経系の活動変化の観点からすると、逆の反応を示す可能性のあることが示唆された。この知見は、映像ソース中にこれらの要素が混在する場合には、影響評価を正しく行なうことが困難になる可能性があることを意味している。

また、本研究では脈波伝播時間変動 *PTT* に着目をした。*PTT* は、血管内を伝わる脈波が伝播するのに要する時間であり、血圧との間に相関があることが報告されている。この *PTT* は、安価で計測が容易、かつ拘束感の低い光電脈波センサを用いた測定回路で得ることができるため、実験で十分な精度を得る

ことができるならば、環境を統一したもとの、多数の被験者に対する同時計測が可能となり、実験環境の違いによる個人差の低減に寄与するものと考えられる。本研究では、安価で製作できる脈波測定回路を映像刺激の実験に用いて  $PTT$  を算出し、真の血圧変動  $MBP$  による解析結果と比較を行なった。

この結果、測定開始直後では、脈波伝播時間  $PTT$  を用いた  $\rho_{\max}$  と  $MBP$  による  $\rho_{\max}$  との間に差がみられた。この要因として、装着直後にはセンサの装着圧によって血管の形状が安定していないことが推測され、今後、センサ部分の改良が必要であると考えられる。また、脈波伝播時間-平均血圧の相関値と脈波信号の  $S/N$  比との間に相関がみられたことから、真の血圧が未知である状況下で計測を行なう場合に、脈波信号の  $S/N$  比をデータの信頼性の目安とできることがわかった。

また、従来から問題となっていた時間分解能の低さを改善できる方法として、瞬時位相差  $\phi_0$  による解析法に関する提案を行なった。瞬時位相差  $\phi_0$  は、自律神経系活動の乱れによって生じると考えられる Mayer 波帯域における血圧-心拍数間の瞬時位相の差に着目した指標であり、 $\rho_{\max}$  と近い変動をすることが確かめられた。しかし一方で、 $\phi_0$  は  $\rho_{\max}$  が反映している 2 変量間の振幅変化のずれを反映していないことから、一部では  $\rho_{\max}$  と異なる結果となった。このことについては、瞬時位相と共に計算できる瞬時振幅を組み合わせることで、より  $\rho_{\max}$  に近い指標に改善できると予想される。一方、 $\rho_{\max}$  と  $\phi_0$  の差をとることで、 $\rho_{\max}$  低下の要因を、位相の乱れによるものと振幅の乱れによるものとに分離して解析を行なうことが可能であると考えられる。ただし、瞬時位相や瞬時振幅を正確に計算するには、解析対象の信号パワーが十分でなければならず、Mayer 波が弱まる時間帯における解析結果には注意が必要である。したがって、今後、瞬時値推定の信頼度を加味した解析手法の確立が必要となる。

$\rho_{\max}$  は、血圧-心拍数間の関係性を、血圧変動→心拍数変動の神経活動による効果のみについて開ループとして扱っていたため、従来から、閉ループを形成している循環系指標に適用することに疑問が示されていた。本研究では、Porta らにより提案された、自己回帰モデルに基づく因果コヒーレンス関数を解析し、心拍数-血圧間を、血圧変動→心拍数変動方向の神経系と、心拍数変動→血圧変動方向の血管系とに分けて解析をおこなった。この結果、 $\rho_{\max}$  は血圧変動→心拍数変動方向の神経系のコヒーレンス関数と近い結果を示し、開ループ下でも圧受容反射感度をほぼ正しく推定できていることが示された。一方で、手ぶれ映像視聴による、神経系コヒーレンスの緩やかな低下傾向や、不快映像視聴による興奮時の変化が主に血管系側のコヒーレンスに現れるといった、閉ループ解析特有の知見も得られた。

この手法をもとにして、呼吸による影響や、血管抵抗の変化等も含めたモデルを用いた解析を行なうことで、映像刺激によって循環系指標に現れる影響がどの部分に起因しているかを確認する新たな手法

への発展が期待できる。

本研究の結果からは、映像刺激の生体影響に関して多くの有意な知見が得られたが、各個人のデータを見る限りでは分散が大きく、未だ再現性の問題が改善されているとはいえない。このため、観測されている生理的指標から危険を事前に察知することのできるようなシステムへの応用を行うにはまだ多くの問題を抱えているといえる。

# 論文審査結果の要旨

近年の情報通信技術の発達、時間や場所の制約なしに映像情報を受け取ることができるいわゆるユビキタス映像社会の到来をもたらしつつある。健全なユビキタス映像社会を実現するには、映像が生体に与える悪影響を定量的に把握し、これを防止する手段の開発が必要である。本論文は、映像刺激が生体に与える影響を定量化するための方法の開発に関するものであり、全編7章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、肉体的・精神的負荷に対する生体反応に関する従来の評価手法のうち、特に、非侵襲的かつ簡単に計測できる血圧、心拍数、呼吸数などの循環器系・呼吸器系パラメータを用いた方法について概観し、これまでの方法の問題点を明らかにしている。

第3章では、光点滅映像、手ぶれ映像、および不快映像の3つの映像刺激を用い、血圧・心電図・光電脈波などを計測する映像刺激実験の方法、および、0.1Hz 近傍の Mayer 波帯域における血圧変動から心拍数変動までの最大相互相関係数  $\rho_{\max}$  の時間変動を評価指標とする解析法について述べている。この解析法を実験データに適用した結果、光感受性発作歴、乗り物酔い感受性、およびシミュレータ酔いに関する従来の主観評価値との対比により、映像酔いが発症したとき  $\rho_{\max}$  が低下する傾向にあることなどが明らかにされた。これは従来にはない知見である。

第4章では、 $\rho_{\max}$  を求めるために必要であった連続血圧を、計測が容易で、小型・安価な光電脈波の計測で代用する新しい方法を提案している。その結果、脈波に含まれる雑音が少なければ、従来の方法と同等な  $\rho_{\max}$  が得られることを明らかにした。このことは、多数の被験者を用いた同時実験により、長時間映像に対する統計的信頼性の高い評価が一回の実験で可能になることを意味するものであり、将来の広範な応用が期待される。

第5章では、 $\rho_{\max}$  の欠点であった時間分解能の低さを改善するために、血圧変動と心拍数変動の間の瞬時位相差を求める方法を提案した。解析結果から、瞬時位相差は、 $\rho_{\max}$  と大小関係が相反する変化をする部分と  $\rho_{\max}$  の変化とは対応しない部分があること、および、これが  $\rho_{\max}$  を補う情報を含む可能性があることが明らかにされた。

第6章では、 $\rho_{\max}$  の代わりに因果コヒーレンス関数を導入することにより、血圧から心拍数までの中枢系と心拍数から血圧までの血管系のそれぞれの線形相関性を独立に求める方法を提案した。その結果、手ぶれ映像の場合、 $\rho_{\max}$  はその値が実験中ほぼ一定であったにもかかわらず、中枢系のコヒーレンス関数の値は低下し、血管系のそれが上昇することが明らかにされた。この現象は、動揺病の発症メカニズムの解明に結びつく重要な知見である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、自律神経系の支配を受ける圧反射系の線形相関性を表す指標に着目することによって、映像が生体に与える影響を、映像の種類と被験者の体質・特性をパラメータとして定量化できることを明らかにしたものであり、医用生体工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。